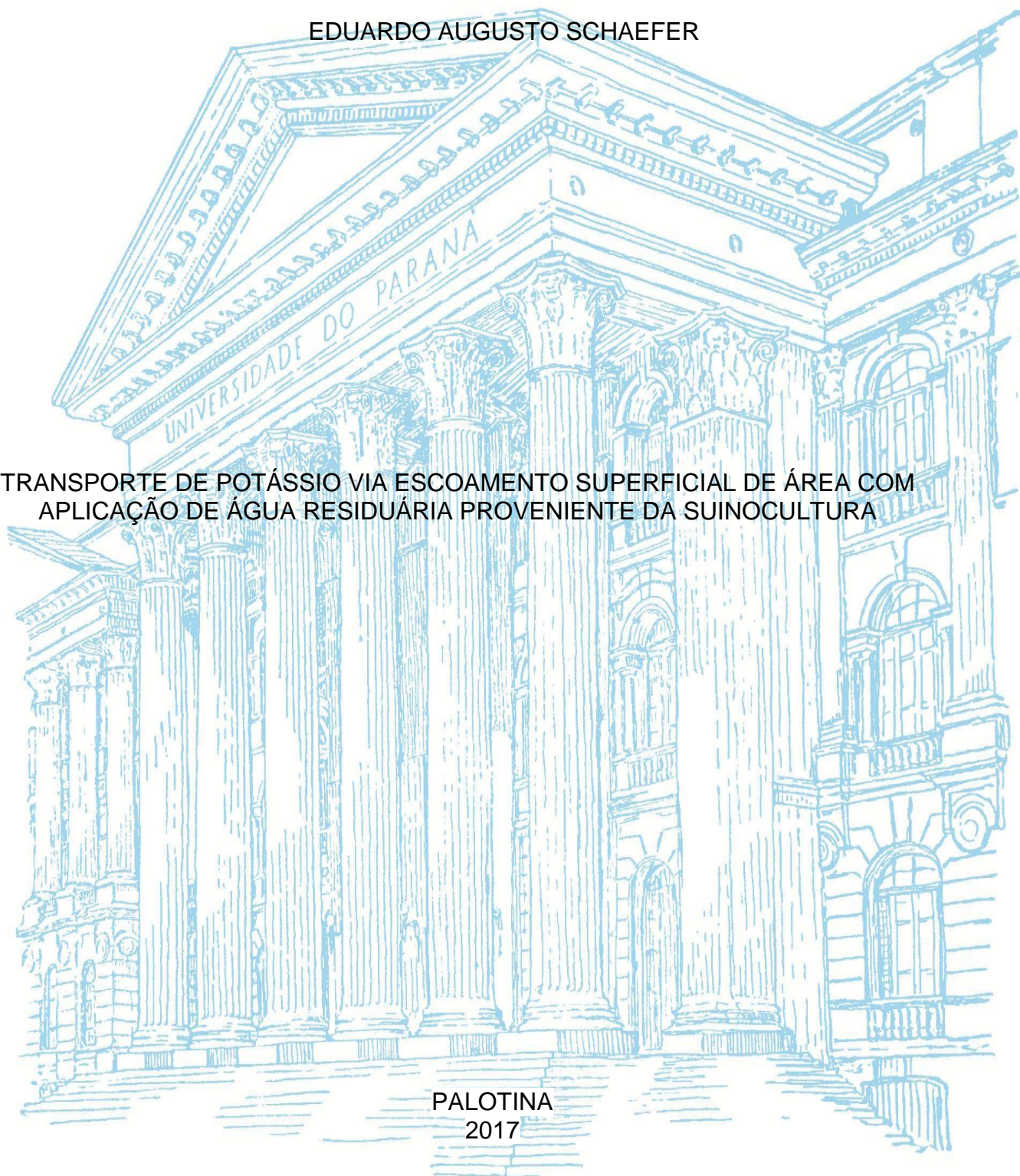


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – SETOR PALOTINA

EDUARDO AUGUSTO SCHAEFER

TRANSPORTE DE POTÁSSIO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁREA COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE DA SUINOCULTURA

PALOTINA
2017



EDUARDO AUGUSTO SCHAEFER

TRANSPORTE DE POTÁSSIO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁREA COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE DA SUINOCULTURA

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, como
parte das exigências para obtenção de título de
Engenheiro agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter

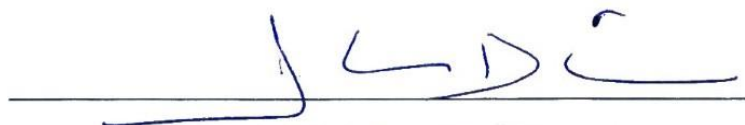
PALOTINA
2017

TERMO DE APROVAÇÃO

EDUARDO AUGUSTO SCHAEFER


TRANSPORTE DE POTÁSSIO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREA COM APLICAÇÃO DE ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a) Agrônomo(a) no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:



Prof(a). Dr(a). Jonathan Dieter

Orientador - Departamento de Engenharias e Exatas – UFPR Setor Palotina



Prof(a). Dr(a). Mauricio Guy de Andrade

Departamento de Engenharias e Exatas – UFPR Setor Palotina



Maikon Tiago Yamada Danilussi
Engenheiro Agrônomo

Palotina, 16 de dezembro de 2017

Dedico este trabalho ao meu pai Valdemar Luiz Schaefer, pois teu sonho está sendo realizado! Á minha mãe Marinês e ao meu irmão Leonardo, por todo apoio durante minha vida.

AGRADECIMENTO

À Deus por ter escolhido sempre o melhor para a minha vida, me atendendo nas horas em que mais precisei.

Aos meus pais, que com sabedoria e humildade ensinaram, motivaram e inspiraram seus filhos à trilharem o mesmo caminho do deles.

À minha família, pelo apoio, carinho e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu orientador Jonathan Dieter, que me auxiliou durante a confecção deste trabalho.

Aos meus professores, que sem hesitar transmitiram os conteúdos e ensinamentos necessários para formar um engenheiro agrônomo.

Aos meus colegas de graduação que vivenciamos uma história juntos, e estarão sempre em meu coração.

*“O sucesso nada mais é que ir de fracasso
em fracasso sem que se perca o entusiasmo”*

Winston Churchill

RESUMO

O uso da água residuária de suinocultura (ARS) como fonte nutricional para o desenvolvimento dos cultivos em solos pesados, e em sistema de plantio direto contribuem com o aumento da concentração de potássio no perfil do solo, facilitando para que ocorra escoamento e o consequente arrasto de potássio sobre as camadas superficiais do solo, sob condições de precipitação. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores de potássio em dois períodos distintos: Após a aplicação de adubações (APA) e após o ciclo da cultura do milho (APC). Para o período APA foram utilizadas ARS nas concentrações de (0, 75, 150, 225 e 300 m³ ha⁻¹) juntamente com as doses de adubação mineral (ADM) a 0,05 metros de profundidade nas doses de (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) recomendadas para a cultura. As parcelas utilizadas foram lisímetros suspensos com área de 0,70 m², solo caracterizado e submetido ao sistema de plantio direto. Após a aplicação das adubações (orgânica e mineral) foram simuladas precipitações em diferentes intensidades (*I_p*) (45, 60, 75, 90 e 105 mm h⁻¹) nas parcelas submetidas também a declividades (*i*) distintas (4%, 9%, 14%, 19% e 24%). No período APC ocorreu apenas simulações de diferentes *I_p* sobre os restos vegetais da cultura. A coleta da solução escoada da superfície tinha duração de 72 minutos, para o período APA e APC. As amostras, levadas para análises laboratoriais com as devidas identificações. Determinaram-se as concentrações de K das amostras coletadas totalizando 28 ensaios. Utilizou-se delineamento composto central rotacional (DCCR), em planejamento fatorial completo 2⁴, com pontos axiais ($\alpha = (2^n)^{1/4}$). Observou-se que as concentrações de K tem relação positiva com os fatores independentes, e que a ARS é o fator de maior influência no aumento da concentração de k na solução escoada seguido da *i*. A redução nos teores de K após o período APC tiveram reduções expressivas em relação ao período APA.

Palavras-chave: Desejtos. Macronutrientes. Biofertilizantes

ABSTRACT

The use of swine wastewater (ARS) as a nutritional source for the development of crops in heavy soils, and in no-tillage system, contribute to the increase of the potassium concentration in the soil profile, facilitating the flow and consequent drag of potassium on the surface layers of the soil, under precipitation conditions. The objective of the present work was to evaluate potassium contents in two distinct periods: After the application of fertilizers (APA) and after the corn crop cycle (APC). For the APA period, ARS was used at concentrations of (0, 75, 150, 225 and 300 m³ ha⁻¹) together with the doses of mineral fertilization (ADM) at 0.05 meters depth in the doses of (0%, 25 %, 50%, 75% and 100%) recommended for culture. The plots used were suspended lysimeters with an area of 0.70 m², soil characterized and submitted to no-tillage system. After application of fertilizer (organic and mineral), precipitations were simulated in different intensities (Ip) (45, 60, 75, 90 and 105 mm h⁻¹) in plots also submitted to distinct slopes (4%, 9% , 14%, 19% and 24%). In the APC period, only simulations of different Ips occurred on the plant remains of the crop. The collected solution of the surface had a duration of 72 minutes, for the period APA and APC. The samples, taken for laboratory analyzes with the appropriate identifications. The K concentrations of the collected samples were determined totaling 28 assays. A rotational central composite (DCCR) design was used in complete factorial design 2⁴, with axial points ($\alpha = (2n)^{1/4}$). It was observed that the concentrations of K are positively related to the independent factors, and that ARS is the most influential factor in increasing the concentration of k in the solution drained followed by i. The reduction in K levels after the APC period had significant reductions in relation to the APA period.

Keywords: Wishes. Macronutrients. Biofertilizers

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTECEDENDO O INÍCIO DO EXPERIMENTO.....	16
TABELA 2- MATRIZ DO PLANEJAMENTO PARA OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARIÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.....	17
TABELA 3- MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETE 2 ⁴ COM OS VALORES REAIS E CODIFICADOS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E <i>i</i> ...18	
TABELA 4- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADA AO SOLO.....	20
TABELA 5 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO 2 ⁴ PARA OS FATORES INDEPENDENTES E RESPECTIVAS CONCENTRAÇÕES DE K ⁺ PARA OS PERÍODOS APA E APC.	23
TABELA 6 – ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE K ⁺ . A REGRESSÃO FOI AJUSTADA PARA O PERÍODO APA.	25
TABELA 7- ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE A REGRESSÃO AJUSTADA PARA O PERÍODO APA.	28

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – FATORES INDEPENDENTES E INTERAÇÕES QUE APRESENTARAM INFLUÊNCIA SIGNIFICATIVA NO AUMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE K^+ NA SOLUÇÃO ESCOADA (PERÍODO APA).....24

GRÁFICO 2: SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA PREDIZER A CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO EM RELAÇÃO A (ARS) E (IP).....26

GRÁFICO 4 - SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE K^+ EM FUNÇÃO DA TAXA DE ARS APLICADA E INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO SIMULADA (I_p)30

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- LISÍMETRO DE DRENAGEM SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (A) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (B) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM “A”; (C) LOCAL DE COLETA DO LIXIVIADO; (D) SISTEMA DE INCLINAÇÃO DO SOLO.....	19
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 METODOLOGIA	16
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	16
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	16
3.3 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO	18
3.3.1 CONFECÇÃO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS	18
3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARS	19
3.3.3 PROCESSOS DE ADUBAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CHUVA.....	20
3.3.4 SEMEADURA DO MILHO E ADUBAÇÃO MINERAL.....	20
3.3.5 SIMULAÇÃO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (Ip)	21
3.3.6 COLETA DA SOLUÇÃO ESCOADA	21
3.3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS	21
3.3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 POTÁSSIO NO PERÍODO APA	23
4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA	24
4.2 PERÍODO APC	27
4.2.1 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA	28
5 CONCLUSÃO	31
6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	32

1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA

Devido ao crescimento populacional nas últimas décadas, gerou-se um aumento na demanda por produtos e alimentos, onde a procura pela carne suína cresceu de forma que impulsionou os setores produtivos, principalmente o agropecuário. Porém, este crescimento acentuou um grave processo que já vinha acontecendo, o qual estava resultando em problemas ambientais (KUNZ et al., 2004).

Segundo Kunz et al., (2004), a suinocultura no Brasil, se caracteriza pela criação intensiva de animais em pequenos espaços, o que gera grande quantidade de resíduos, torna esta, uma atividade de grande risco de contaminação ao meio ambiente.

Visto que o incorreto destino dos resíduos, falta de estrutura de armazenamento e manejo inadequado dos resíduos são os responsáveis por problemas de contaminação, Kunz et al., (2004). Assim como o uso indiscriminado de resíduos da suinocultura como fonte nutricional nos cultivos, excedendo a capacidade de processamento do solo, resultando em escoamento de nutrientes, dentre eles o Potássio, ocasionando a contaminação dos recursos hídricos e lençóis freáticos (CORRELL, 1998).

De acordo com Rosolen (1997), o adequado manejo de adubação potássica, é de relevância econômica e ambiental, pelo fato de que o potássio em elevadas quantidades, pode resultar na perda por lixiviação e percolação, atingindo recursos hídricos. Do mesmo modo que ao decorrer dos anos, a sua falta resulta no empobrecimento do solo, diminuindo as diferentes formas em que o potássio se encontra no solo.

Levando em conta a dinâmica do nutriente no solo, para Paglia et al., (2007), as concentrações de potássio na solução lixiviada do solo tenderam a aumentar, à medida em que se elevaram as doses de potássio aplicadas. Sendo assim, é importante que se mantenha um monitoramento contínuo nas áreas onde são aplicados os dejetos de suinocultura, coletando informações sobre a qualidade do solo, água superficial e subterrânea (SILVA e RIBEIRO, 2013).

Sendo assim, pela capacidade poluente do elemento potássio quando aplicado indiscriminadamente sobre o solo, oferecendo assim danos ao meio ambiente quando transportados à cursos superficiais e subterrâneos de água, as

quais estão com concentrações máximas estabelecidas por legislação CONAMA (BRASIL, 2005), o presente trabalho tem por objetivo avaliar o transporte de potássio total via escoamento superficial em solos submetidos a aplicação de ARS, adubação mineral, e diferentes declividades e intensidades de precipitação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o transporte de potássio total no escoamento superficial após aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) e adubação mineral em solos com diferentes declividades, e com diferentes intensidades de precipitação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ☐ O presente trabalho tem por objetivo avaliar os teores de potássio total arrastados junto ao escoamento superficial após o período APA (após aplicação de adubações).
- ☐ Avaliar os teores de potássio total arrastados junto ao escoamento superficial após o período APC (após o ciclo da cultura).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O local onde o experimento foi realizado foi na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, no mês de fevereiro de 2013, e sua localização geográfica fica a 24° 17' 36" de latitude Sul e 53° 50' 26" de longitude Oeste e altitude média de 348 metros. O clima se caracteriza por ser do tipo subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1640 mm. O município apresenta temperatura média de 21° C e a umidade relativa do ar média é de 75 a 80% (IAPAR, 2014). O solo da área é classificado como latossolo vermelho eutroférico (EMBRABA, 2013). Inicialmente, o solo foi caracterizado de 0-0,20 m de profundidade, o qual apresentou 67,5 % de argila, 16,9 % de silte e 15,9 % de areia. Sendo que as propriedades químicas estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1- ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTECEDENDO O INÍCIO DO EXPERIMENTO.

Parâmetro	pH	CE	MO	H ⁺ +Al ³⁺ :	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC
	H ₂ O	µS.cm ⁻¹	g dm ⁻¹	-----	mmolc dm ⁻³			-----	
Média*	5.87	307	23.5	38	56.2	15	3.1	74.8	112.8
DP	±0.1 89	±42.7	±3.7	±4.7	±14.6	±4.1	±0.9	±18.7	±15.97
Parâmetro	V	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	B	N	P	S
	%	----- mg dm ⁻³ -----							
Média*	65	127	9.35	23	6.1	0.35	1505	55.3	4.5
DP	±8.3	±5.9	±1.1	±3.3	±1.2	±0.03	±265	±15.2	±1.732

Protocolos de EMBRAPA (1997), TEDESCO et al. (1995) e RAIJ et al. (2001). P, K⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ e Mn: extrator Mehlich-1; Ca²⁺ e Mg²⁺: KCl 1 M. * médias (n=4); DP: Desvio Padrão; pH: (H₂O); CE: Condutividade elétrica; M.O: Matéria Orgânica; H⁺+Al³⁺: Hidrogênio+alumínio (acidez trocável); Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; K⁺: Potássio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases; Mn²⁺: Manganês; Cu²⁺: Cobre; Fe²⁺: Ferro; Zn²⁺: Zinco; B: Borro N: Nitrogênio total; P: Fósforo; S: Enxofre;

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado o delineamento composto central rotacional (DCCR) (HAALAND, 1989), em planejamento fatorial completo 2⁴, com pontos axiais ($\alpha = (2^n)^{1/4}$). Onde foram realizados vinte e oito ensaios, sendo dezesseis ensaios fatoriais, quatro centrais e oito axiais.

É possível observar os níveis dos quatro fatores independentes estudados na Tabela 2. Onde se determinou cinco níveis, adotando dois níveis desejados e os demais por meio de interpolação.

TABELA 2- MATRIZ DO PLANEJAMENTO PARA OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARIÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.

FATORES	NÍVEIS (CODIFICADOS)				
	-2 (α)	-1	0	1	+2 (α)
ARS ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	0	75	150	225	300
ADM (%)	0	25	50	75	100
Ip (mm h^{-1})	45	60	75	90	105
i (%)	4	9	14	19	24

α): Pontos axiais calculado por $\alpha = (2^n)^{1/4}$, com $n=4$./ ARS ($\text{m}^3 \text{há}^{-1}$) Água residuária de suinocultura./ ADM (%) Adubação mineral./ Ip (mm h^{-1}) Intensidade de precipitação./ i (%) declividade.

Segundo trabalhos realizados na região oeste do paraná, identificaram-se as doses limites para a aplicação de ARS, onde definiu-se os níveis utilizados para a determinação das doses que seriam utilizadas, sendo este em dois níveis, tendo como base estes estudos. (-2= 0 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ e +2= 300 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). (PRIOR *et. al.*, 2013; TESSARO *et. al.*, 2011).

Já em relação aos níveis da ADM foram definidos como recomendação máxima e mínima. (+2= 100%) e (-2= 0%), respectivamente, sendo 0% a não utilização de ADM. Quanto a simulação de precipitação (Ip) teve como base de cálculo a intensidade de 60 mm h^{-1} (-1) visto nos estudos de DAL BOSCO *et. al.*, (2008) e MORI *et. al.*, (2009) e, a lâmina de 45 mm h^{-1} (-2) suficiente para escoamento superficial. Visando reproduzir condições semelhantes a realidade de campo, utilizou-se diferentes declividades i (%), a fim de ilustrar a topografia da região.

Utilizou-se a matriz do planejamento completo 2^4 , depois da determinação dos níveis dos fatores independentes presentes na Tabela 2. Apresentada na Tabela 3, a matriz utilizada, que conta com os valores reais e codificados dos fatores independentes, somando um total de vinte e oito (28) ensaios realizados.

TABELA 3- MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETE 2^4 COM OS VALORES REAIS E CODIFICADOS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E i .

Ensaio	ARS $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	ADM %	Ip mm h^{-1}	i (%)	Ensaio	ARS $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	ADM %	Ip mm h^{-1}	i %
1 ¹	75	25	60	9	15 ¹	75	75	90	19
2 ¹	225	25	60	9	16 ¹	225	75	90	19
3 ¹	75	75	60	9	17 ²	150	50	75	14
4 ¹	225	75	60	9	18 ²	150	50	75	14
5 ¹	75	25	90	9	19 ²	150	50	75	14
6 ¹	225	25	90	9	20 ²	150	50	75	14
7 ¹	75	75	90	9	21 ³	0	50	75	14
8 ¹	225	75	90	9	22 ³	300	50	75	14
9 ¹	75	25	60	19	23 ³	150	0	75	14
10 ¹	225	25	60	19	24 ³	150	100	75	14
11 ¹	75	75	60	19	25 ³	150	50	45	14
12 ¹	225	75	60	19	26 ³	150	50	105	14
13 ¹	75	25	90	19	27 ³	150	50	75	4
14 ¹	225	25	90	19	28 ³	150	50	75	24

¹ ensaios fatoriais; ² ensaios centrais; ³ ensaios axiais.

Fonte: O AUTOR, (2017).

3.3 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO

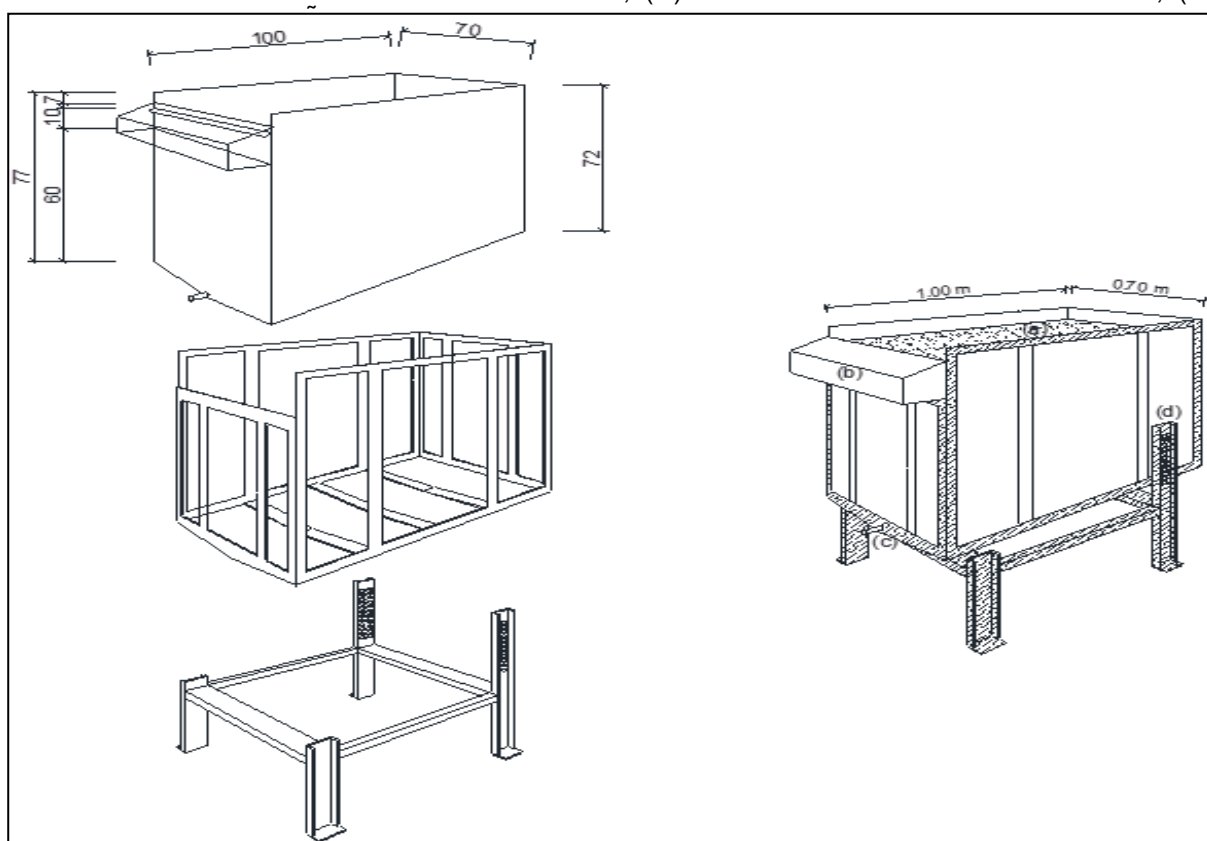
3.3.1 CONFECÇÃO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

A confecção dos lisímetros de drenagem suspensos contribuíram para a coleta do escoamento superficial, os quais eram compostos por polietileno rotomoldado, nas dimensões de 0,70 m x 1,00 m, tendo 0,7 m² de área. Onde o fundo dos lisímetros tinham uma inclinação de 5%, e os mesmos eram sustentados por uma estrutura metálica, a qual tinha regulagem para o ajuste da declividade desejada. (FIGURA 1).

Inicialmente, ao fundo de cada lisímetro, preparou-se uma camada de pedra brita, a qual foi lavada com solução de HCL 0,1 mol L⁻¹, seguido de uma manta

filtrante (Bidim). Onde o substrato utilizado para completar os lisímetros foi o próprio solo, coletado de área agrícola conduzida no sistema de plantio direto, acondicionando na mesma ordem natural, 0,60 m. de solo. O qual, após o prazo de seis meses de espera, para que ocorresse a acomodação do solo, foi necessária uma reposição da diferença ao fim desse prazo.

FIGURA 1- LISÍMETRO DE DRENAGEM SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (A) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (B) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM "A"; (C) LOCAL DE COLETA DO LIXIVIADO; (D) LOCAL DE COLETA DO LIXIVIADO;



FONTE: O AUTOR (2017)

3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARS

De acordo com as doses apresentadas na tabela 2 (0; 75; 150; 225; e 300 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) é que foram realizadas as aplicações da ARS, as quais foram aplicadas de forma manual com o auxílio de um regador, sobre a área útil da parcela (7 m^2), cuidando para não ocorrer o escoamento superficial. O volume de ARS necessária para o desenvolvimento do experimento foi coletada na saída do biodigestor de uma UPL (Unidade de produção de leitões). Onde as características físicas-

químicas estão expostas na tabela 4.

TABELA 4- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADA AO SOLO.

Parâmetros	Unidades	Valores	Parâmetros	Unidades	Valor
pH	-	7,8	Manganês	mg L ⁻¹	1,0
Condutividade Elétrica	μS m ⁻¹	7.300,0	Zinco	mg L ⁻¹	46,0
Carbono Orgânico	mg L ⁻¹	1325,0	Ferro	mg L ⁻¹	26,3
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	1107,0	DQO	mg L ⁻¹	68.80
Fósforo	mg L ⁻¹	322,0	Turbidez	UNT	2.138
Potássio	mg L ⁻¹	592,0	Sólidos totais	mg L ⁻¹	11.60
Cálcio	mg L ⁻¹	511,0	Sólidos Fixos	mg L ⁻¹	5.400
Magnésio	mg L ⁻¹	152,0	Sólidos Voláteis	mg L ⁻¹	6.200
Enxofre	mg L ⁻¹	121,0	Sólidos Totais Dissolvidos	mg L ⁻¹	3.033
Sódio	mg L ⁻¹	540,0	Sólidos Fixos Dissolvidos	mg L ⁻¹	2.022
Boro	mg L ⁻¹	1,0	Sólidos Voláteis Dissolvidos	mg L ⁻¹	1.011
Cobre	mg L ⁻¹	5,6	-	-	-
Metodologia de determinação					

Fonte: O AUTOR, (2017)

3.3.3 PROCESSOS DE ADUBAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CHUVA

A coleta da solução escoada dos lisímetros foi realizada em dois momentos, sendo:

1° Após a aplicação da adubação (APA), seguida da semeadura do milho + aplicação de ARS + Simulação da lp.

2° Após a colheita do milho (APC), seguida apenas de simulação da lp sobre os restos vegetais da cultura.

3.3.4 SEMEADURA DO MILHO E ADUBAÇÃO MINERAL

O milho foi semeado em fevereiro de 2013 de forma manual, no entanto, buscou-se simular condições de operações normais observadas em campo. O solo foi recoberto por restos vegetais de soja TMG 7161 – 13 RR.

O híbrido de milho utilizado foi o 30A37 Hx RR da MORGAM Sementes e Tecnologia, no espaçamento de 50 cm entre linhas, com 4 sementes por metro linear. A dosagem da adubação de base foi de 296 kg/ha⁻¹ (considerando 100% do

recomendado) do fertilizante mineral 10-15-15, a uma profundidade de 0,05 m. vale ressaltar ainda que a utilização das parcelas experimentais teve início no ano de 2012, caracterizando assim uma situação de sucessão na prática de aplicação da ARS.

3.3.5 SIMULAÇÃO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (I_p)

Para realização da simulação da I_p foi utilizado simulador de chuva InfiAsper/UFMS desenvolvido por Alves sobrinho *et al.*, (2008). As intensidades de precipitação foram as apresentadas na Tabela 2 (45, 60, 75, 90, 105 mm h⁻¹) sobre a área da parcela (7 m²) durante um período de 72 min. de escoamento superficial. Esses valores de intensidade e tempo foram respeitados tanto para o período APA como para o período APC.

3.3.6 COLETA DA SOLUÇÃO ESCOADA

O processo de coleta da solução escoada da superfície da área da parcela foi realizada durante um período de 72 minutos de escoamento efetivo. Sendo cronometrado somente a partir do início do escoamento propriamente dito, variando principalmente conforme a intensidade de precipitação imposta e a declividade de cada parcela.

Ao final da simulação de cada parcela, a amostra devidamente identificada seguia então ao laboratório de Análises de Biossistemas Agrícolas para a determinação da concentração de potássio presente nas soluções.

3.3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS

O K⁺ foi determinado pelo Método da espectrometria de absorção atômica por chama. Os resultados foram expressos em mg L⁻¹.

3.3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise da superfície de resposta tem como base o método de planejamento fatorial que consiste num grupo de técnicas usadas para o estudo das relações entre a resposta medidas analiticamente e um número de variáveis de entrada que possam ser controladas. Análise de significância foi realizada através do gráfico de Pareto ao nível de 5% de significância, sobre a resposta do Potássio, determinando-se quais fatores independentes seriam utilizados no ajuste do modelo de regressão linear para correlacionar os fatores independentes significativos com as variáveis respostas resposta. Os coeficientes significativos do modelo foram avaliados por meio do teste “F”, sendo apenas considerados os modelos significativos ao nível de 5%. A estimativa dos efeitos lineares foram obtidos pelo software STATISTICA (desenvolvido pela Statsoft™).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 5 apontam os teores de K^+ ($mg\ L^{-1}$) presentes na solução escoada da superfície após os períodos APA e APC.

TABELA 5 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO 2⁴ PARA OS FATORES INDENDENTES E RESPECTIVAS CONCENTRAÇÕES DE K^+ PARA OS PERÍODOS APA E APC.

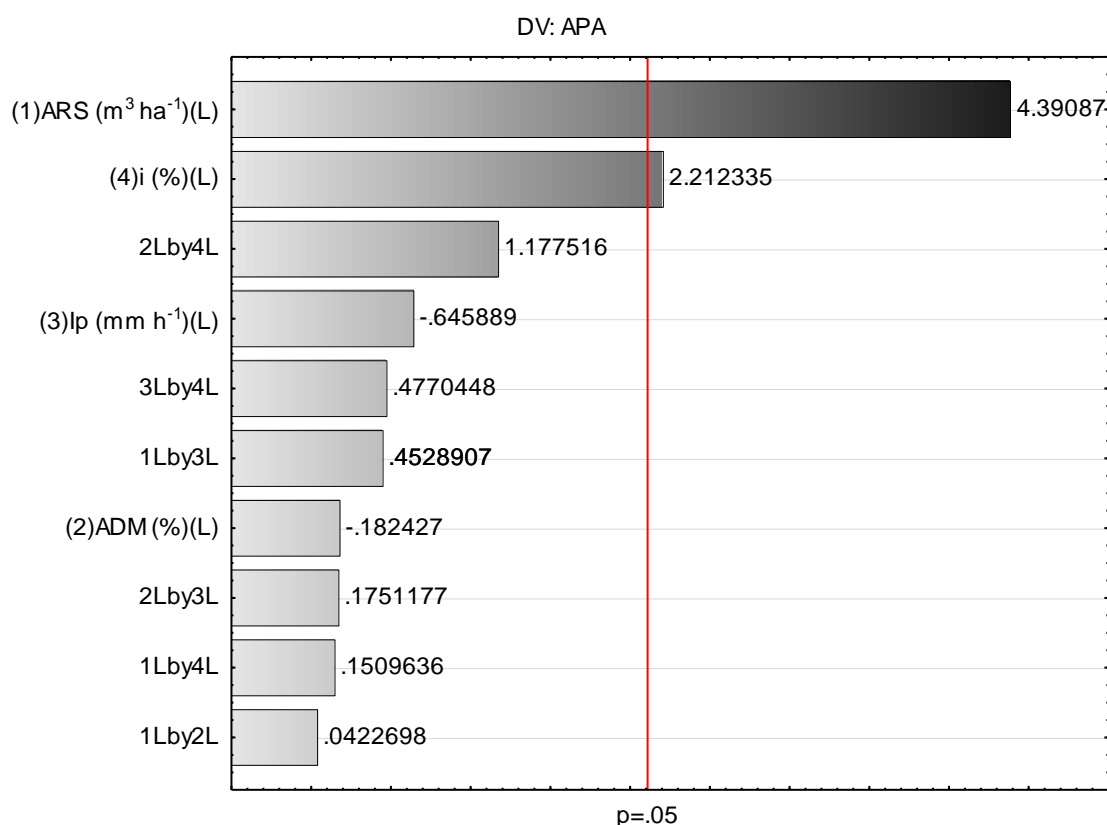
Ensaio	Reais				Codificados				K^+ (APA)	K^+ (APC)
	ARS	ADM	Ip	I	ARS	ADM	Ip	I		
1	75	25	60	9	-1	-1	-1	-1	2.83	1.50
2	225	25	60	9	1	-1	-1	-1	3.35	1.32
3	75	75	60	9	-1	1	-1	-1	2.60	1.43
4	225	75	60	9	1	1	-1	-1	3.20	0.95
5	75	25	90	9	-1	-1	1	-1	2.93	0.91
6	225	25	90	9	1	-1	1	-1	3.20	1.36
7	75	75	90	9	-1	1	1	-1	2.50	1.16
8	225	75	90	9	1	1	1	-1	2.75	1.07
9	75	25	60	19	-1	-1	-1	1	3.01	1.34
10	225	25	60	19	1	-1	-1	1	3.09	2.00
11	75	75	60	19	-1	1	-1	1	2.93	1.58
12	225	75	60	19	1	1	-1	1	3.12	1.57
13	75	25	90	19	-1	-1	1	1	2.47	1.03
14	225	25	90	19	1	-1	1	1	3.33	0.89
15	75	75	90	19	-1	1	1	1	2.89	1.12
16	225	75	90	19	1	1	1	1	3.65	0.95
17	150	50	75	14	0	0	0	0	3.45	0.98
18	150	50	75	14	0	0	0	0	2.83	0.92
19	150	50	75	14	0	0	0	0	3.38	1.35
20	150	50	75	14	0	0	0	0	3.02	1.08
21	0	50	75	14	-2	0	0	0	1.83	1.09
22	300	50	75	14	2	0	0	0	4.52	1.72
23	150	0	75	14	0	-2	0	0	2.63	0.95
24	150	100	75	14	0	2	0	0	2.73	1.12
25	150	50	45	14	0	0	-2	0	2.98	1.33
26	150	50	105	14	0	0	2	0	2.53	0.52
27	150	50	75	4	0	0	0	-2	2.09	1.12
28	150	50	75	24	0	0	0	2	3.77	0.96

Fonte: O AUTOR, (2017).

4.1 POTÁSSIO NO PERÍODO APA

No Gráfico 1 apresenta o Gráfico de Pareto para o período APA. Observa-se que dentre os fatores independentes avaliados neste estudo, a quantidade de ARS aplicada e a inclinação do solo (*i*) foram significativos ao nível de 5%. Observa-se ainda que o fator ARS apresenta maior influência sobre a concentração de K^+ na solução escoada que *i*.

GRÁFICO 1 – FATORES INDEPENDENTES E INTERAÇÕES QUE APRESENTARAM INFLUÊNCIA SIGNIFICATIVA NO AUMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE K^+ NA SOLUÇÃO ESCOADA (PERÍODO APA).



Significativo ao nível de 5%

Fonte: O AUTOR, (2017).

4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA

A tabela 6 apresenta a análise de variância (ANOVA), para a verificação dos fatores independentes e interações significativas estatisticamente.

TABELA 6 – ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE K⁺. A REGRESSÃO FOI AJUSTADA PARA O PERÍODO APA.

FV	GL	SQ	QM	Fcal	F tab	R ²
Regressão	2	4.14351	2.071755062	15.63669	3.38519 *	0.5557
Resíduo	25	3.312329	0.132493177			
Total	27	7.45584				

Fonte: O AUTOR, (2017).

A qualidade do ajuste é quantificada pelo coeficiente de regressão R², sendo que esta regressão explica em torno de 55% dos dados. Considerando a razão entre Fcal/Ftab (4,62) observa-se que a regressão foi significativa, visto que a relação necessariamente deve ser maior que 1 para tal. Quando o valor da razão (Fcal/Ftab>4) a regressão passa a ser não só significativa estatisticamente, mas também útil para fins preditivos.

Na Eq. 1 abaixo apresenta-se a equação ajustada para a concentração de K⁺ na solução escoada para o período APA.

$$K^+ = 2,99 + 0,37 \cdot \text{ARS} + 0,19 \cdot i \quad (\text{Eq. (01)})$$

Considerando que o modelo apresentado na Eq. (01) apresenta a Fcal/Ftab>4, pode-se utilizar o modelo para prever o comportamento do processo do transporte de k⁺ no escoamento superficial.

Ao avaliar os coeficientes angulares dos fatores independentes percebe-se a ordem de grandeza em relação a influência sobre o aumento na concentração de K⁺ na solução escoada: ARS > *i*.

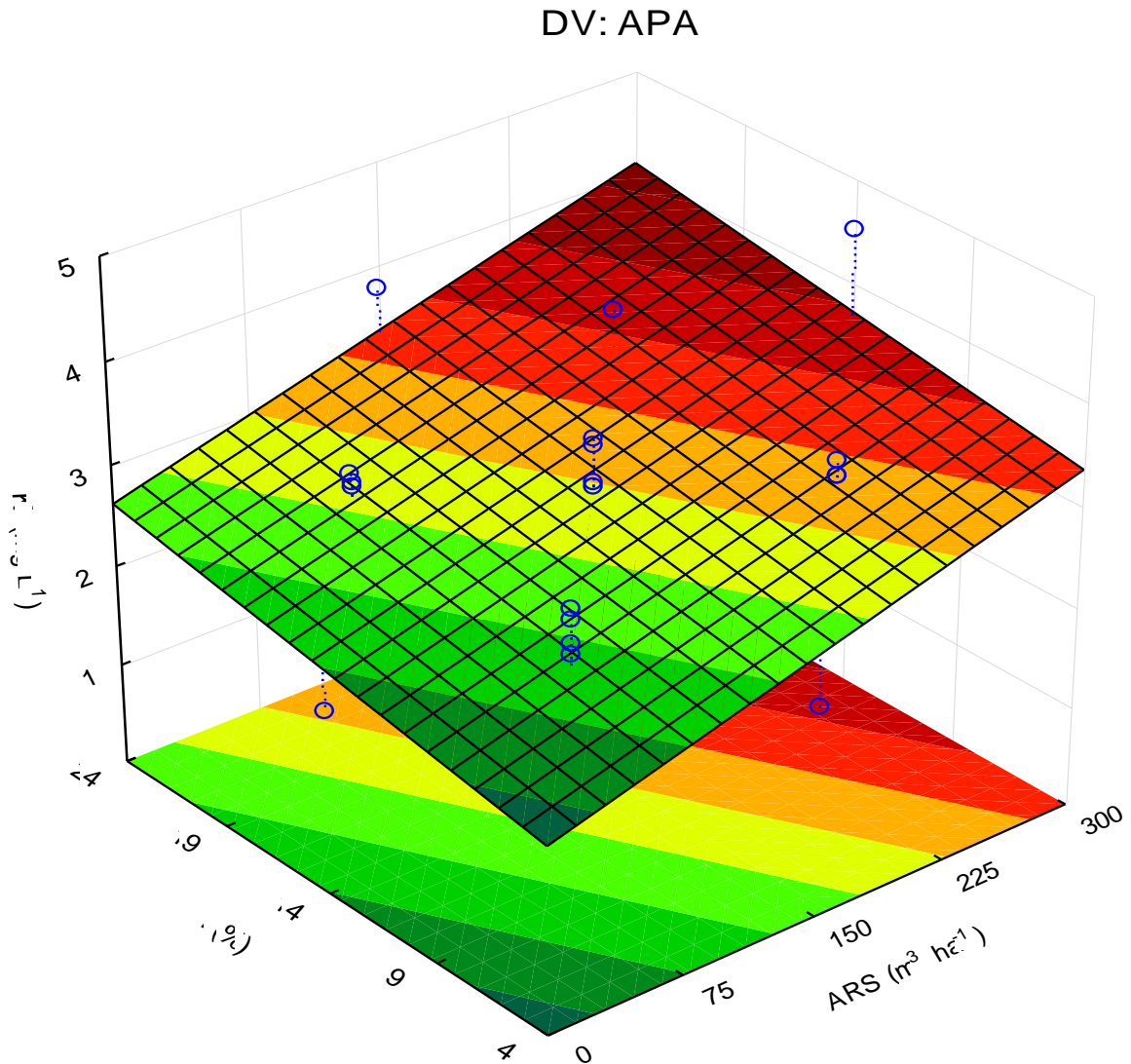
É possível ainda estimar em porcentagem a influência dos fatores independentes, verifica-se que o coeficiente angular da ARS (0,37) possui influência em torno de 1,94 vezes maior que *i*, sobre a concentração de K⁺ na solução escoada da superfície.

O Gráfico 2, corresponde a superfície de resposta, obtidos através da utilização da regressão ajustada (Eq. (01)). O Gráfico 1 corresponde aos fatores ARS e *i* em relação a quantidade de K⁺ na solução escoada da superfície.

Segundo a ilustração dos gráficos de superfície de resposta, tanto ARS, *i* e *lp* apresentam relação positiva com a quantidade de K⁺ na solução escoada, ou seja, o aumento das taxas desses dois fatores independentes proporciona aumento

da concentração de K^+ na solução escoada da superfície.

GRÁFICO 2: SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA PREDIZER A CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO EM RELAÇÃO A (ARS) E (IP) NO PERÍODO APA.



K^+ (mgL^{-1})CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO ESCOADA; I (%)DECLIVIDADE DO TERRENO;
ARS(m^3HA^{-1})DOSE DE AGUA RESIDUÁRIA UTILIZADA;

Fonte: O AUTOR, (2017)

Foram utilizadas duas fontes de potássio no presente trabalho, sendo uma através da água residuária de suinocultura e a outra através da adubação mineral. Segundo Basso (2003), o excesso de aplicações de potássio (K), quando proveniente de água residuária de suinocultura, pode ocasionar um acúmulo do nutriente na camada superficial do solo, principalmente quando em sistema de plantio direto, potencializando as chances de que ocorram perdas por escoamento superficial.

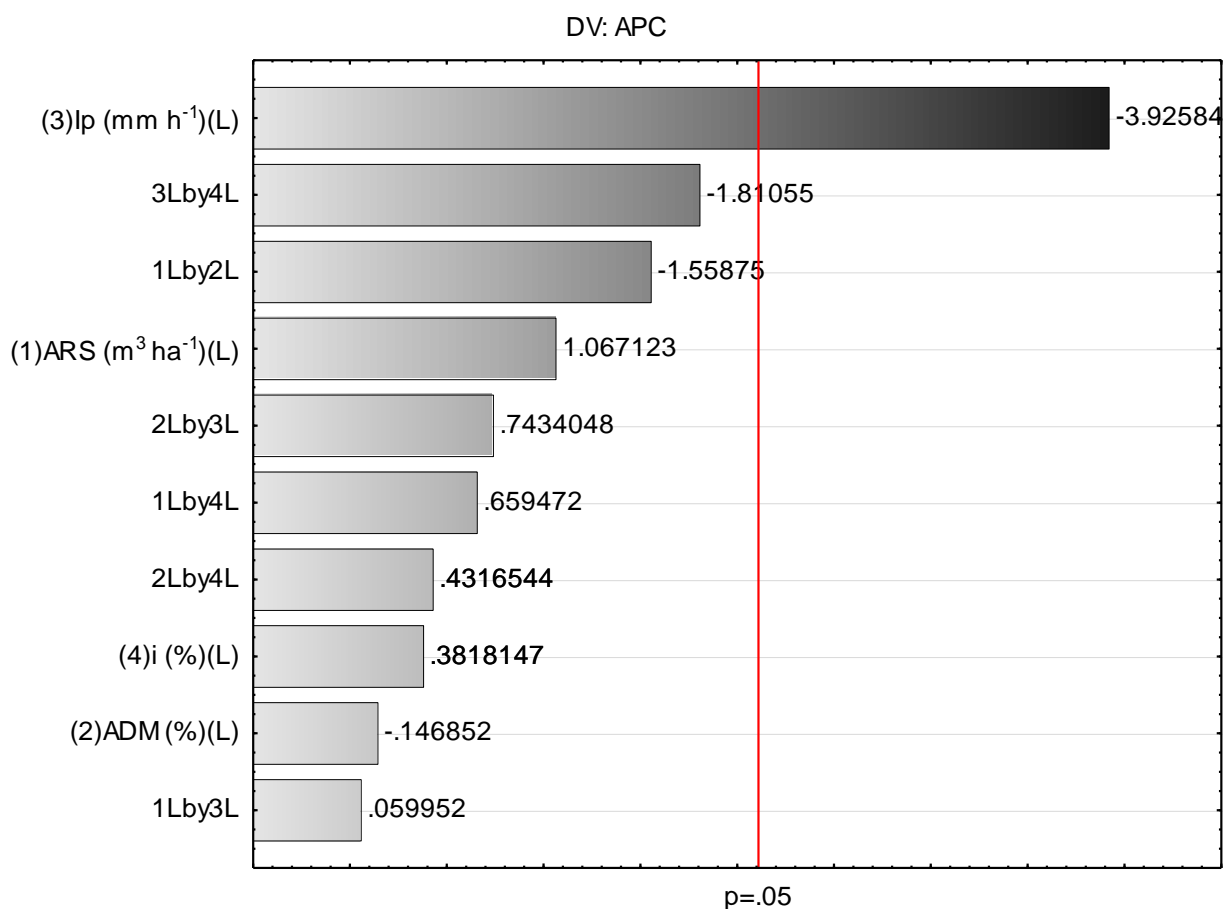
Semelhante aos resultados observados no presente estudo, onde os fatores ARS e inclinação do solo (i) foram significativos. Já em relação aos fatores independentes a ARS se mostrou o mais significante, com o maior potencial de dano ambiental, devido ao arraste de k^+ junto ao escoamento superficial, podendo atingir recursos hídricos.

De acordo com a ordem de significância, o segundo fator independente em relação à concentração de (k^+) encontrada na solução escoada é a inclinação do solo (i), sendo que de acordo com que se aumenta a inclinação, respectivamente aumenta a concentração de k^+ escoado. O que explica esta relação, é que quanto maior a declividade de um terreno, maior será a velocidade do escoamento, caracterizando um maior transporte de partículas do solo, juntamente com nutrientes presentes na camada superficial.

4.2 PERÍODO APC

No Gráfico 3 apresenta o Gráfico de Pareto para o período APC. Observa-se que dentre os fatores independentes avaliados neste estudo, a intensidade de precipitação (I_p) foi significativo ao nível de 5% sobre a concentração de k^+ na solução.

GRÁFICO 3- GRAFICO DE PARETO PARA OS FATORES INDEPENDENTES E INTERAÇÕES NO PERÍODO APC.



Significativo ao nível de 5%.

Fonte: O AUTOR, (2017).

4.2.1 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA

A tabela 7 apresenta a análise de variância (ANOVA), para a verificação dos fatores independentes e interações significativas estatisticamente.

TABELA 7- ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE A REGRESSÃO AJUSTADA PARA O PERÍODO APA.

FV	GL	SQ	QM	Fcal	F tab	R ²
Regressão	1	0.96481	0.964806	15.90693	4.225201 *	0.3796
Resíduo	26	1.576983	0.060653192			
Total	27	2.54179				

Fonte: O AUTOR, (2017).

Conforme dito no item 4.1, o teste F deverá apresentar uma razão entre F calculado (F_{cal}) e F Tabelado superior ou igual a 1 para a regressão ser considerada estatisticamente significativa. O modelo da equação linear descrito na Eq. 02 apresenta uma razão de 3,55. Esse valor ($F_{cal}/F_{tab} > 1$) valida estatisticamente o modelo, não se recomenda a utilização para prever os resultados da concentração de K^+ na solução escoada após a colheita do milho, para um intervalo de confiança 95%. Outro fator que deve ser levado em consideração é R^2 apresenta um valor de 0,3796.

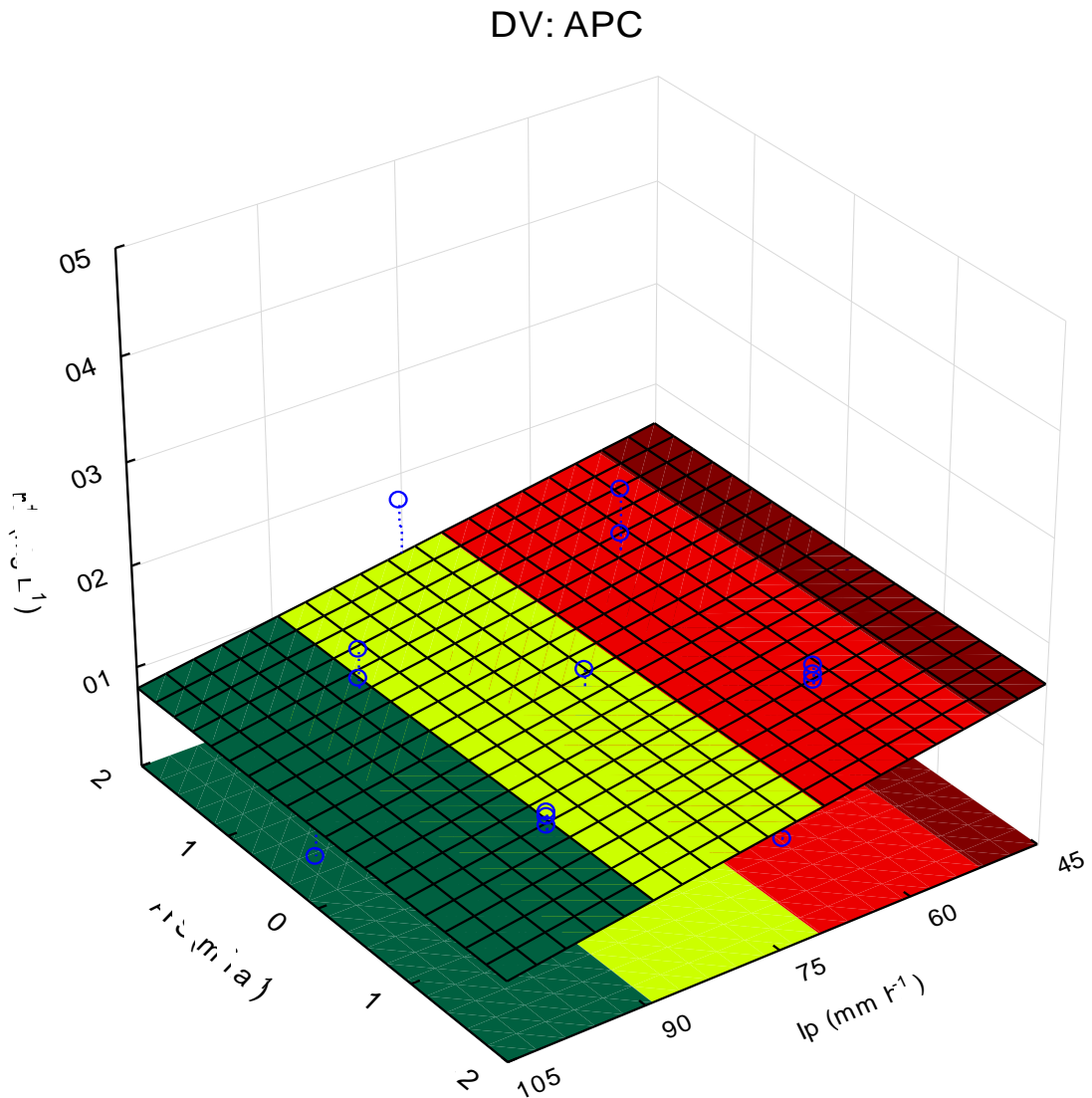
Na Eq. 2 abaixo apresenta-se a equação ajustada para a concentração de K^+ na solução escoada para o período APA.

$$K^+ = 1,18 - 0,20 \cdot I_p \quad (\text{Eq. 02})$$

A intensidade de precipitação simulada (I_p) foi o único fator que apresentou resposta em relação a concentração de k^+ no período APC. Isso indica que a variação k^+ na solução escoada é inversamente proporcional a intensidade de precipitação, ou seja, elevando a precipitação diminuirá a concentração de K^+ em solução, provavelmente devido a diluição no volume precipitado

O gráfico de superfície de resposta foi obtido através de um planejamento fatorial, conforme mostra o gráfico 4, sendo possível observar a superfície de respostas do modelo de regressão linear múltipla.

GRÁFICO 3 - SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE K^+ EM FUNÇÃO DA TAXA DE ARS APLICADA E INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO SIMULADA (I_p)



$K^+(mgL^{-1})$ CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO ESCOADA; $I_p(mm h^{-1})$ INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO; $ARS(m^3 HA^{-1})$ DOSE DE AGUA RESIDUÁRIA UTILIZADA;

O AUTOR, (2017).

No Gráfico 4 estão representados os fatores no período APC. Onde somente o fator intensidade de precipitação (I_p) apresentou significância, indicando que a concentração de K^+ na solução foi inversamente proporcional à intensidade de precipitação (I_p). Já os outros fatores não apresentaram nível significativo, pelo fato das fontes de potássio utilizadas (ARS e ADM), pelo período que a cultura leva para completar o ciclo e também pela dinâmica do potássio no solo.

5 CONCLUSÃO

- Das duas fontes de K^+ utilizadas no experimento, a ARS é a principal fonte de potássio total na solução escoada da superfície do solo.
- As concentrações K^+ foram reduzidas após a colheita do milho (APC) quando comparadas com o primeiro escoamento (APA), demonstrando que a transferência de K^+ está relacionado com o período de aplicação.
- A aplicação de ARS potencializou o transporte de K^+ via escoamento superficial,
- Observou-se maior risco ambiental no momento da aplicação do ARS, pelo significativo aumento na concentração de K^+ na superfície do solo, deste modo, oferecendo um risco ambiental aos recursos hídricos.
- Para o período APC observamos um fator negativo, sendo a intensidade de precipitação.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H. G.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 163-170, 2008.

BASSO, C.J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 125p. (Tese de Doutorado)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 58-63, 18 de março de 2005.

CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: **A review**. **J. Environ. Qual.**, 27:261- 266, 1998.

DAL BOSCO, T. C.; SAMPAIO, S. C.; OPAZO, M. A. U.; GOMES, B. M.; NÓBREGA, L. H. P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 699-709, 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. 353 p. Embrapa solos. Brasília, DF. 2013.

HAALAND, P.D. Experimental design in Biotechnology. New York: Marcel Dekker, 1989 HEATHWAITE, L.; SHARPLEY, A.; GBUREK, W. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. **Journal Environmental Quality, Madison**, v. 29, p. 158-166, 2000.

KUNZ, A.; SCHIERHOLT NETO, G. F.; NUNES, L. M. A.; OLIVEIRA, P.A. Estudo da relação maravalha/dejeto a diferentes umidades para incorporação de lodo de dejeto de suínos, Florianópolis, 2004. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, 2004, Florianópolis. Anais..., 2004.

MORI, H. F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W. L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejeto líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 189-198, 2009.

PAGLIA, E. C. et al. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n.1, p. 94–100, 2007.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P. ; OPAZO, M. A. U.; DIETER, J.; PEGORARO, T. Combined pig slurry and mineral fertilization for corn cultivation.

Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 56, p. 337-348, 2013.

ROSOLEM, C.A. Adubação potássica em semeadura direta. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Resumos e Palestras. Dourados**, 1997. p.1-12.

SILVA, O. A. O; RIBEIRO, R. L. Lixiviação de potássio após treze anos de Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)**. Universidade de Rio Verde – UniRV. 2013

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Agrometeorologia. 2014. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acessado em: 27/06/2017.

